

#### Список литературы

1. Литвинский Г.Г. Закономерности изменения напряженного состояния при ведении очистных работ / Г.Г. Литвинский // Сб. науч. трудов: Строительство шахт, механика и разрушение горных пород. – Алчевск: ДГМИ, 1996. – С.71-80.
2. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР / Минуглепром СССР – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222с.
3. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике /А.Б. Фадеев – М.: Недра, 1987. – 221с.
4. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок / С.Н. Комиссаров. – М.: Недра, 1983– 237с.
5. Виттке В. Механика скальных пород: пер. с нем. / В. Виттке. –М.: Недра, 1990. – 439с.
6. Yang L. Sterling R.L. Back analysis of rock tunnel using boundry element method / I. Geotechn. Eng. – 1989. – 115, № 8. – pp. 1163-1169.
7. Hisatake M. Assessmet of tunnel face stability bu back analysis / Field Meas. Geomech: Proc. 2and Int Sym., Kobe, 6-9Apr. 1987. Rotterdam, Brookfield, 1988. – pp. 1217-1224.
8. Лантух-Лященко А.И. Лира. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций: учеб. пособие / А.И. Лантух-Лященко – К. – М.: 2002. – 312с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.  
Надійшла до редакції 11.03.10*

УДК 622.235

© В.Г. Кравец, В.В. Вапничная, А.В. Францишко

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЗРЫВНОГО ОБРУШЕНИЯ ГРУНТА ПРИ СОЗДАНИИ ВЗРЫВОМ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЩЕЛЕЙ**

Рассмотрены особенности взрывной технологии создания компенсирующих вертикальных щелей для предупреждения деформаций поверхностных слоев грунта под влиянием подземных горных работ

Розглянуті особливості вибухової технології створення компенсуючих вертикальних щілин для попередження деформацій поверхневих шарів ґрунту під впливом підземних гірських робіт

The features of explosive technology of compensating vertical cracks creation are considered for forestalling deformations of superficial layers of soil under influence of mining operations

**Введение.** Взрывные технологии получения инженерных сооружений - вертикальных щелей типа "стена в грунте" - универсальные, технологичные и высокопродуктивные, поэтому их можно рекомендовать как приоритетные везде, где для этого имеются соответствующие грунтовые условия и достаточное расстояние от поверхностных зданий и сооружений по фактору сейсмоопасности при исполнении взрывных работ.

Сущность технологии состоит в бурении серии скважин на проектную глубину и на определенном расстоянии друг от друга, что обеспечивает достижение заданного результата – сплошного профиля либо прерывистой щели постоянного или переменного сечения (рис. 1).

Взрыванием удлиненных скважинных зарядов получают серию полостей, образованных взрывом каждого удлиненного заряда. При соответствующем расположении скважин эти полости могут соприкасаться или пересекаться, образуя щель разной конфигурации в плане.

**Постановка цели.** Задача сводится к расчету заряда в скважине, необходимого для получения полости нужного диаметра, и расстояния между зарядами. Расстояние между зарядами и соответственно между полостями в ряду выбирается с учетом грунтовых условий. Поскольку при взрывании зарядов в неустойчивых грунтах велика вероятность обрушения стенок взрывной полости, особенно при взаимодействии нескольких зарядов в серии, необходимо выполнять взрывы зарядов в окружении специальных растворов. Эти растворы на основе тонкодисперсной глины (например, бентонита) должны размещаться в скважинах увеличенного диаметра и в дальнейшем, в процессе эксплуатации вертикальной щели, выполнять роль компенсатора деформаций поверхности. При получении взрывом вертикальной щели выполняются следующие операции: определение физико-механических характеристик грунтов в районе проведения работ; бурение скважин; заполнение скважин глинистым раствором; зарядание скважин; коммутация взрывной сети и взрывание; дополнительное размещение раствора в полученной щели.

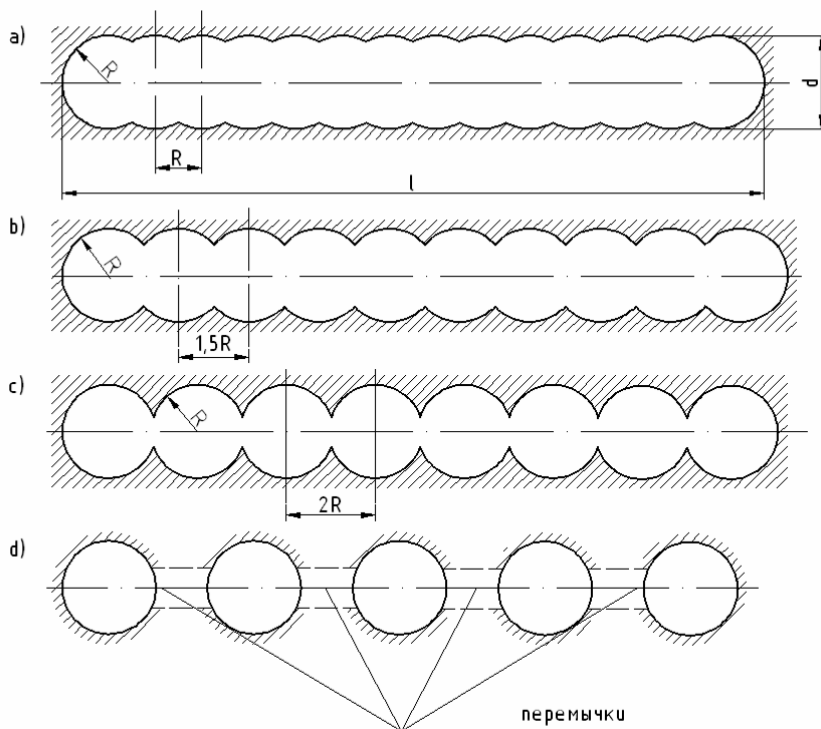


Рис. 1. Варианты формирования компенсационной щели

**Изложение основного материала.** В процессе формирования сооружений типа “стена в грунте” путем взрывного обрушения с перемешиванием глинистой суспензии и обрушенного грунта основную роль играет количество глинистого раствора с соответствующими примесями и водой, который находится во взрывной полости на момент взрыва. Это количество должно отвечать объему грунта, который обваливается в газовую полость во время взрыва, с некоторой

поправкой на избыточное обрушение. На практике допускается, что после взрывного обрушения устьевая часть образованной при этом полости на 0,15 ее длины  $H$  не будет заполнена суспензией. Учитывая это, можно определить диаметр концентрической области вокруг буровой скважины, в пределах которой объем грунта будет отвечать объему залитой в буровую скважину глинистой суспензии.

Считается, что для обеспечения защиты поверхностных объектов от местных деформаций грунтового массива достаточно, чтобы компенсационная щель распространялась на глубину 8-10 м, соответственно принимается глубина взрывных скважин. При этом с учетом действия продуктов детонации глубина взрывной полости будет несколько больше (на 0,5 - 0,7 м).

Следует учитывать, что буровая скважина заполняется не больше, чем на 0,95 глубины  $H$  с тем, чтобы устьевая незаполненная ее часть оказывала содействие колебательным движениям суспензии во время взрыва заряда:

$$V_c = 0,95\pi r_c^2 H, \quad (1)$$

где  $V_c$  – объем буровой скважины,  $r_c$  – радиус буровой скважины. Объем минеральной фазы грунта, который обваливается взрывом во взрывную полость, с учетом условия, что по высоте колонка грунта составит  $0,85H$ , равняется:

$$V_{zp} = \pi(R_{zp}^2 - r_c^2)(1 - n)0,85H, \quad (2)$$

где  $R_{zp}$  – радиус обрушенной зоны грунта,  $n$  – пористость грунта, которую следует учитывать при расчете объема, поскольку в смешивании с суспензией принимает участие лишь минеральная фаза.

Для получения смеси грунта и глинистой суспензии с необходимыми инженерными характеристиками объемы глинистой суспензии и минеральной фазы грунта берутся в пропорции:

$$V_{zp} = V_c$$

Или

$$\pi(R_{zp}^2 - r_c^2)(1 - n)0,85H = 0,95\pi r_c^2 H. \quad (3)$$

После преобразований получим:

$$R_{zp} = r_c \sqrt{\frac{1,12}{1 - n} + 1}. \quad (4)$$

При  $n = 0,45$ , что характерно для высокопористых грунтов верхних горизонтов в естественном состоянии,

$$R_{zp} = 1,75r_c, \quad (5)$$

т.е. радиус полости, полученной вследствие обрушения взрывом, должен составлять 1,75 радиуса буровой скважины, заполненной глинистой суспензией.

Объем, ограниченный радиусом  $R_{zp}$ , не является объемом взрывной полости. Под взрывной полостью понимают объем, образованный расширением взрывных газов. В нашем случае объем полости – это объем взрывной газовой полости плюс объем минеральной фазы обрушенного грунта. Есть известные в литературе данные [1] о наличии зоны максимального уплотнения на контакте с газовой полостью, где пористость грунта практически ликвидируется. Соответственно, для определения объема газовой полости необходимо из объема полости радиусом  $R_{zp}$  вычесть объем минеральной фазы, обрушенной в полость. Выполним эти подсчеты для 1 погонного метра заряда:

$$\left(\pi R_{zp}^2 - \pi r_n^2\right)(1 - n) = \pi r_c^2, \quad (6)$$

где  $r_n$  - радиус газовой пустоты.

С учетом  $R_{zp} = 1,75r_c$  и  $n = 0,45$

$$r_n = 1,24r_c. \quad (7)$$

Радиус газовой полости связан с линейной массой заряда  $C_n$  соотношением:

$$r_n = K_{np} \sqrt{C_n} \quad (8)$$

Откуда

$$C_n = \left(\frac{r_n}{K_{np}}\right)^2 = 1,54 \left(\frac{r_c}{K_{np}}\right)^2, \quad (9)$$

где  $K_{np}$  – грунтовый коэффициент, который характеризует простреливаемость конкретного грунта. Для обводненных суглинистых грунтов  $K_{np}$  принимают равным 0,25, тогда:

$$C_n \cong 25r_c^2, \quad (10)$$

Технология предусматривает рассредоточение заряда по глубине буровой скважины в виде гирлянды сосредоточенных зарядов (рис.2).

Практика показывает, что гирлянда сосредоточенных зарядов должна быть эквивалентна по массе расчетному линейному заряду. Линейный заряд рассредоточивается таким образом, чтобы расстояние между сосредоточенными зарядами равнялось 1 м. При этом масса сосредоточенного заряда равняется массе 1 м линейного заряда:

$$Q_z = C_n. \quad (11)$$

При таком способе конструирования сети зарядов достигается заметный эффект обрушения и смешивания пульпы с грунтом.

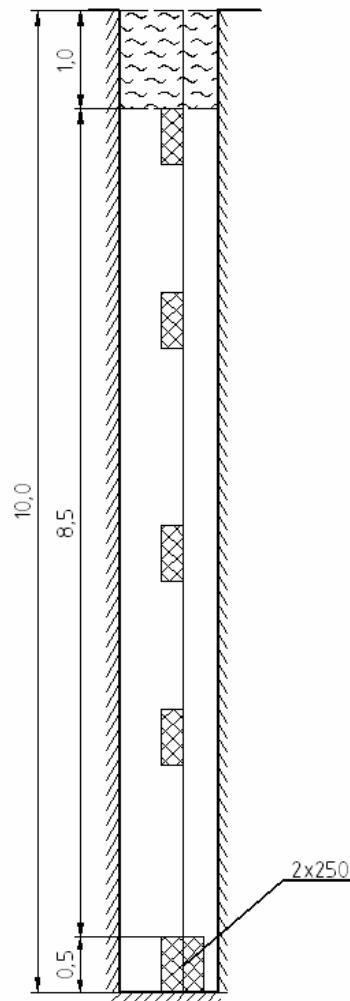


Рис. 2. Общий вид щели сверху при взрыве сближенных вертикальных зарядов (перемычка между полостями сохраняется у поверхности на глубину размещения забойки - 0,3 - 0,4 м)

Расстояние между буровыми скважинами должно обеспечивать создание сплошной квазиплоской щели, т.е. отдельные полости обрушения должны сливаться (рис. 3).

Для получения относительно равномерного по сечению экрана расстояние  $a$  между осями зарядных полостей равняется [1]:

$$a = 2r_n \left( \frac{2}{2^{\mu+1}} - 1 \right)^{1/2}, \quad (12)$$

где  $a$  - коэффициент, который характеризует степень затухания напряжений с расстоянием и зависит от симметрии заряда и свойств грунта. Для систем сосредоточенных зарядов, которые имитируют удлиненный заряд, в водонасыщенном грунте

$$a \cong 2r_n. \quad (13)$$

Гирлянда сосредоточенных зарядов в буровой скважине соединяется детонирующим шнуром, который обеспечивает безопасное соединение и одновременное подрывание гирлянды.



Рис. 3. Общий вид взрывной щели сверху

Основные параметры технологии, рассчитанные по приведенным формулам, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры технологии взрывного обрушения

Диаметр скважины $d_c, \text{ м}$	Ширина экрана, м	Масса линейного заряда $C_{\text{л}}, \text{ кг/м}$	Расстояние между зарядами $a, \text{ м}$	Затрата ВВ на буровую скважину, кг при $H, \text{ м}$			Затраты суспензии на буровую скважину, кг при $H, \text{ м}$		
				10	15	20	10	15	20
0,20	0,35	0,25	0,4	2,5	3,7	5,0	100	160	200
0,25	0,44	0,40	0,5	4,0	6,0	8,0	160	250	350
0,30	0,53	0,56	0,6	5,6	8,4	11,2	200	300	450
0,35	0,61	0,77	0,7	7,7	11,5	15,4	300	480	650
0,40	0,70	1,0	0,8	10,0	15,0	20,0	400	660	880

В технологии со взрывным обрушением количество водоотдачи может быть большим. Это не повлияет на результат и даже повышает эффективность метода за счет меньшей затраты глины и большей затраты воды.

Следует учитывать, что при взрыве в грунт проникает не вода, а глинистый раствор с добавлением веществ, которые имеют высокую активность. После взрыва зарядов происходит перемешивание глинистого раствора и смоченного водным раствором грунта в пределах зоны обрушения.

Количество глины на  $1 \text{ м}^3$  глинистой суспензии заданной плотности определяется формулой:

$$C_s = \frac{\rho_z(\rho_c - \rho_B)}{\rho_c - \rho_B}, \quad (14)$$

где  $\rho_z$  – плотность глины,  $\text{т/м}^3$ ,  $\rho_c$  – плотность суспензии  $\text{т/м}^3$ ,  $\rho_B$  – плотность воды,  $\text{т/м}^3$ .

При плотности глины  $\rho_z = 2,0 \text{ т/м}^3$ ,  $\rho_c = 1,2 \text{ т/м}^3$ ,  $C_s = 0,40 \text{ т/м}^3$ .

Используя эти данные, можно оценить экономическую целесообразность использования метода со взрывным обрушением.

Добавление в суспензию гидрофобных материалов значительно улучшает показатели физико-механических свойств глинистой суспензии и увеличивает ее стойкость во времени. Так, например, гидрофобные примеси битумов III-V марок, растворенные в бензоле и добавленные в суспензию, разрешают уменьшить водопоглощение окружающим грунтом до 0,5...1 % при 15 циклах замораживания-оттаивания. Этого достаточно для долговечности компенсирующего экрана.

При производстве взрывных работ вблизи ответственных сооружений требуется оценить степень опасности по действию сейсмической волны. При камуфлетных взрывах удлиненных зарядов расчет сейсмически безопасного расстояния может быть выполнен согласно формуле:

$$R_{без} = 23\sqrt[3]{Q_{вв}} \cdot H_0^{0,42} \cdot V_{кр}^{-0,7}, \quad (15)$$

где  $H_0$  – относительная глубина заложения центра удлиненного заряда, равная

$$H_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{Q_{вв}}}, \quad V_{кр} = 2 \text{ см/с} - \text{допустимая массовая скорость колебаний.}$$

**Выводы.** Согласно приведенной формуле (8) при общей массе заряда 10 кг и длине заряда 10 м безопасное расстояние составит 43 м. Если необходимо разместить компенсационную щель ближе к объекту, следует, либо уменьшить линейную массу заряда, либо взрывать удлиненный заряд частями - последовательно верхнюю и нижнюю части.

#### Список литературы

1. Кравец В.Г. Использование энергии взрыва в мелиоративном строительстве / В.Г. Кравец, И.А. Лучко, А.В. Михалюк. – М. : Недра, 1987. – 208 с.
2. Аверьянов С. Ф. О водопроницаемости почвогрунтов при неполном их насыщении / С. Ф. Аверьянов // Инженерный сборник. – 1953. – Т.7. – С.52–63.
3. Бондаренко Н. Ф. Физика движения подземных вод / Н. Ф. Бондаренко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 285 с.
4. Бэр Я. Физико-математические основы фильтрации воды / Я. Бэр, Д. Заславский, С. Ирмей. – М. : Мир, 1971. – 452 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Росенком А.М.  
Надійшла до редакції 16.04.10*